

# INFRASTRUKTUR

## MODEL NUMERIK PENGARUH KOEFISIEN KEKASARAN MANNING TERHADAP KENAIKAN MUKA AIR DI TELUK PALU

### Numerical Model of Manning Roughness Coefficient Effect on Water Level Rise in Palu Bay

**Alamsyah Prawirabhakti**

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta, km 8 Palu 94118

Email : [alamsyah.pe@gmail.com](mailto:alamsyah.pe@gmail.com)

**Vera Wim Andiese**

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta, km 8 Palu 94118

Email : [wiwin\\_01@yahoo.com](mailto:wiwin_01@yahoo.com)

---

### ABSTRACT

*Manning roughness coefficient ( $n$ ) is one of the parameters affecting the drainage conditions, such as speed and water level. These coefficients, in its natural state vary based on the size, shape and type of material. This study aims to look at the influence of changes in flow conditions due to the use of the Manning coefficient varied by using numerical models RMA2. This module is one of the open channel flow modeling module contained in software Surface-water Modeling System 8.1. Performed numerical models in SMS 8.1, the bathymetry of the river and bay as the input geometry, the average discharge as upstream inputs and yearly tidal average as well as simulating the input down stream flow with variation value of  $n$ . Based on the simulation results of SMS 8.1, changes in water level gradually decrease from the basin to the estuary and ocean regions. Variation of the value of  $n$  to the water level did not change significantly due to any increase in the value of  $n$  0.0050.00002 to 0.00006 m water level in the estuary. Flow velocity in the river is relatively large and gradually tapers to the estuaries and the sea. Variation of the value of  $n$  tends to flow velocity did not change significantly due to any increase inflow velocity of 0.005  $n$  value changed from 0.0002 to 0.0008 m/s at the estuary.*

**Keywords:** Manning roughness coefficient ( $n$ ), numerical models, tidal, water level, bay

### ABSTRAK

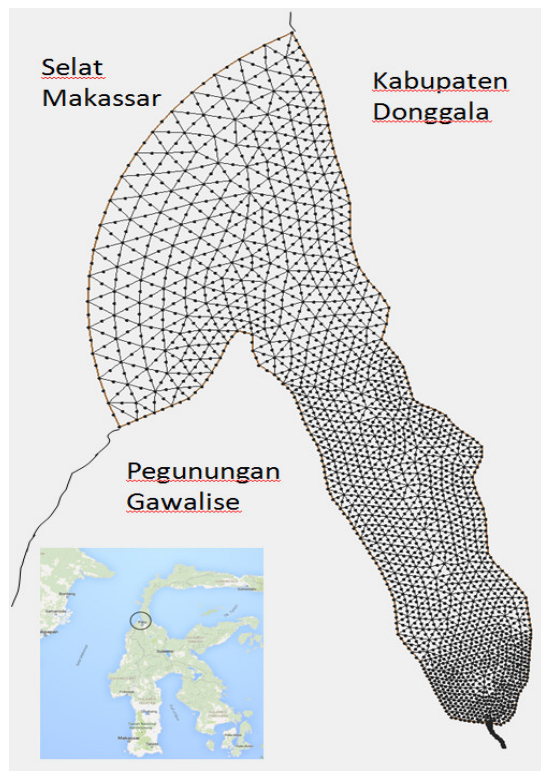
Koefisien kekasaran Manning ( $n$ ) merupakan salah satu parameter dalam mempengaruhi kondisi pengaliran, seperti kecepatan dan tinggi muka air. Koefisien ini, dalam keadaan alamnya sangat bervariasi berdasarkan ukuran, bentuk dan jenis material. Penelitian ini bertujuan untuk melihat besar pengaruh perubahan kondisi pengaliran akibat penggunaan koefisien Manning yang divariasikan dengan memanfaatkan model numerik RMA2. Modul ini merupakan salah satu dari sekian modul pemodelan aliran saluran terbuka yang terdapat di dalam perangkat lunak software Surface-water Modeling System 8.1. Dilakukan model numerik pada SMS 8.1, dengan batimetri sungai dan teluk sebagai input geometri, debit rata-rata sebagai input hulu dan pasang surut rata-rata tahunan sebagai input hilir serta simulasi aliran dengan variasi nilai  $n$ . Berdasarkan hasil simulasi SMS 8.1, perubahan elevasi muka air berangsur-angsur mengecil dari wilayah sungai sampai ke wilayah muara dan laut. Variasi nilai  $n$  terhadap elevasi muka air tidak mengalami perubahan yang signifikan karena setiap kenaikan 0,005 nilai  $n$  elevasi muka air 0,00002-0,00006 m pada muara. Kecepatan arus di sungai relatif besar dan berangsur-angsur mengecil ke wilayah muara dan laut. Variasi nilai  $n$  terhadap kecepatan arus cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan karena setiap kenaikan 0,005 nilai  $n$  kecepatan arus berubah 0,0002-0,0008 m/dt pada muara.

**Kata Kunci :** Koefisien kekasaran Manning ( $n$ ), model numerik, pasang surut, elevasi muka air, teluk.

## PENDAHULUAN

### a. Latar Belakang

Teluk Palu berlokasi di pesisir barat Pulau Sulawesi, antara 38° sampai 54° LS dan 119° 43' sampai 119° 53' BT. Luas teluk berkisar 210 km<sup>2</sup> dan terhubung dengan Selat Makassar di sebelah baratnya. Sungai utama yang bermuara di teluk ini adalah Sungai Palu dengan debit rerata tahunan sebesar 83,65 m<sup>3</sup>/dt. Sebagai sebuah perairan semi-tertutup, teluk ini membentang utara ke selatan dengan panjang ± 30 km dan lebar ± 7 km.



**Gambar 1.** Domain model D1, area studi Teluk Palu  
Sumber : Hasil analisa data

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui skala pengaruh koefisien kekasaran Manning terhadap kenaikan muka air di Teluk Palu. Nilai koefisien ini, dalam keadaan alamnya sangat bervariasi tergantung ukuran butir, bentuk dan jenis material pembentuk dinding saluran. Sifat-sifat hidrolis saluran alam biasanya sangat tidak menentu. Dalam beberapa hal ini dapat dibuat anggapan pendekatan yang cukup sesuai dengan pengamatan dari pengalaman sesungguhnya. Keadaan yang cenderung mengakibatkan turbulensi dan menimbulkan hambatan akan memperbesar nilai  $n$  dan keadaan yang cenderung mengurangi turbulensi dan hambatan akan memperkecil nilai  $n$ . Sehingga koefisien kekasaran Manning perlu dianalisis untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap kondisi pengaliran.

### b. Model Matematik Dan Solusi Numerik

RMA2 adalah model numerik elemen hingga dua dimensi dengan perataan-kedalaman, yang dapat digunakan menghitung elevasi muka air dan komponen kecepatan horizontal untuk keadaan aliran sub-kritik, permukaan bebas pada medan aliran dua dimensi.

RMA2 menghitung solusi elemen hingga komponen bilangan Reynolds dari persamaan Navier-Stokes untuk aliran turbulen. Gesekan aliran dihitung dengan rumus Manning atau Chezy, dan koefisien viskositas Eddy digunakan untuk menentukan karakteristik turbulen. Baik keadaan *steady* maupun *unsteady (dynamic)*, keduanya dapat dianalisa secara bersamaan.

Perataan-kedalaman komponen kecepatan pada arah koordinat  $x$  dan  $y$  berturut-turut didefinisikan sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{H} \int_{z_b}^{z_s} u \, dz \quad V = \frac{1}{H} \int_{z_b}^{z_s} v \, dz \quad (1)$$

dimana  $H$  = kedalaman air,  $z$  = arah vertikal,  $z_b$  = elevasi dasar,  $z_s = z_b + H$  = elevasi Muka air,  $u$  = kecepatan horizontal arah  $x$  pada sebuah titik sepanjang koordinat vertikal, dan  $v$  = kecepatan horizontal arah  $y$  pada sebuah titik sepanjang koordinat vertikal.

a. Persamaan kontinuitas (angkutan massa) dengan integrasi vertikal adalah

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

b. Persamaan konservasi momentum, dengan integrasi vertikal untuk arah  $x$  :

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left( E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left( \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g u n^2}{(h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2 h \omega v \sin \phi = 0 \quad (3)$$

Untuk arah  $y$  :

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left( E_{xx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left( \frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{g v n^2}{(h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \psi + 2 h \omega u \sin \phi = 0 \quad (4)$$

dengan :

- $h$  = kedalaman aliran
- $u, v$  = kecepatan pada koordinat kartesian
- $x, y, t$  = koordinat kartesian dan waktu
- $\rho$  = kerapatan fluida
- $E$  = koefisien viskositas Eddy,
- $xx$  = arah normal di permukaan  $x$  axis
- $yy$  = arah normal di permukaan  $y$  axis
- $xy$  dan  $yx$  = arah geser di setiap permukaan

$g$	=	percepatan gravitasi
$a$	=	elevasi dasar
$n$	=	koefisien kekasaran manning
$\zeta$	=	koefisien geser empiris angin
$Va$	=	kecepatan angin
$\psi$	=	arah angin
$\omega$	=	laju putaran sudut bumi
$\phi$	=	local latitude

Persamaan 2, 3 dan 4 diselesaikan dengan elemen hingga menggunakan metode Galerkin residual-berbobot. Elemen – elemennya berupa garis satu dimensi, atau dua dimensi segiempat atau segitiga, dan bisa saja mempunyai sisi melengkung (parabolik). Fungsi bentuk adalah kuadratik untuk kecepatan dan linier untuk kedalaman. Integrasi dalam ruang dilakukan dengan integrasi Gaussian. Derivasi dalam waktu diganti oleh pendekatan beda hingga nonlinier.

Metode elemen hingga adalah prosedur numeric untuk menyelesaikan persamaan diferensial yang ditemui pada masalah fisika dan rekayasa. Kuantitas kontinyu didekati oleh serangkaian variable di titik-titik diskrit yang membentuk jaringan atau *mesh*. Karena metode elemen hingga dapat disesuaikan dengan kompleksitas permasalahan yang tinggi dan geometri yang tidak biasa, maka ini menjadi alat yang sangat kuat (*powerfull*) dalam pemecahan masalah transfer panas, mekanika fluida, dan system mekanis. Selain itu, ketersediaan komputer yang cepat dan murah memungkinkan masalah yang sulit dipecahkan dapat diselesaikan secara langsung menggunakan metode analitik atau mekanis dengan metode elemen hingga. Sejumlah besar literatur pada bidang ini telah ada.

RMA2 menggunakan Metode Elemen Hingga Galerkin untuk memecahkan sistem pengatur pada persamaan diferensialnya. Solusi dimulai dengan membagi region fisik penelitian menjadi subregion, yang disebut elemen. Elemen dua-dimensi dapat berupa bentuk segitiga atau segiempat, dan didefinisikan oleh titik-titik *node* yang ditempatkan di sepanjang batas (*boundary*) dan interior.

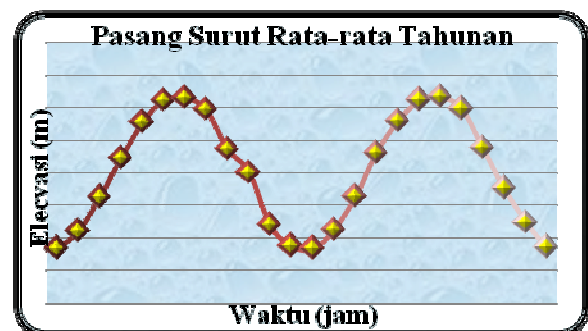
Metode Residu-Berbobot (*Weighted-Residual*) diterapkan pada *governing differential equations* untuk membentuk satu set persamaan pada setiap elemen. Perkiraan dari variabel dependen tersebut kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan, yang umumnya tidak benar-benar tepat, sehingga menghasilkan residu/sisa. Residu ini dapat dihilangkan, dalam arti rata-rata, ketika dikalikan

dengan fungsi pembobotan dan diintegrasikan dengan domain solusi yang berkaitan.

## METODE PENELITIAN

### a. Penerapan Di Teluk Palu

Domain model dibuat 2 buah, diberi nama D1 dan D2 (lihat **Gambar 1** dan **Gambar 3**). D1 adalah domain besar meliputi seluruh Teluk Palu, dibatasi oleh garis pantai daratan Sulawesi yang mengelilingi teluk di sebelah barat, selatan dan timur. Sedangkan di bagian utara, berupa batas laut terbuka berbentuk busur imajiner berbatasan dengan Selat Makassar, sehingga domain model mempunyai luas kurang lebih 453 km<sup>2</sup>. Air tawar berasal dari Sungai Palu di selatan Teluk dengan debit rerata tahunan sebesar 83,65 m<sup>3</sup>/dt. Busur batas laut terbuka di sebelah utara ditarik dari tepi pantai sebelah barat pegunungan Gawalise sampai pantai barat Kabupaten Donggala. Pada batas terbuka ini disimulasikan gelombang pasang surut rerata tahunan dengan sifat semidiurnal M<sub>2</sub> selama 24 jam.



**Gambar 2.** Pasang surut rerata tahunan

Sumber : Hasil analisa data

Bentuk elemen yang digunakan adalah elemen segitiga sejumlah 1228 buah dengan besar elemen bervariasi dari sekitar 8000 m<sup>2</sup> di sekitar muara hingga 1,2 juta m<sup>2</sup> di laut terbuka.

Domain model yang kedua adalah D2. Domain ini berukuran lebih kecil dibanding D1, seperti terlihat pada **Gambar 3**. Pada D2, domain model dibatasi hanya pada area di sekitar muara sungai, dikarenakan penelitian lebih terfokus pada area ini, sehingga memerlukan ketelitian yang lebih tinggi.

Pertama kali dilakukan simulasi untuk D1. Hasil dari simulasi ini kemudian digunakan untuk mensimulasikan D2. Pelaksanaan 2 tingkat simulasi ini dimaksudkan untuk meningkatkan ketelitian pada area yang menjadi fokus studi pada D2 yang lebih kecil luas elemennya.



**Gambar 3.** Domain model D2  
Sumber : Hasil analisa data

Simulasi dilakukan mengkombinasikan debit rerata Sungai Palu sebesar  $83,65 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan pasang surut semidiurnal rerata tahunan selama 24 jam. Sedangkan batimetri sungai dan teluk, berturut-turut

didapatkan dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi III dan Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL. Secara ringkas, skenario simulasi yg diterapkan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Pengaturan skenario simulasi

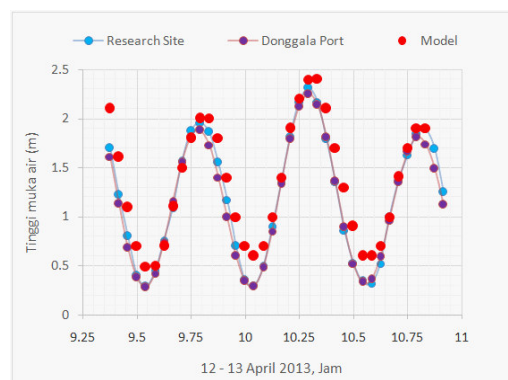
Geometri		Batas Hulu (Q Rerata)	Batas Hilir (Pasut rerata)	Waktu simulasi	Nilai Manning	
Sungai	Laut				Sungai	Laut
Data BWS III	Data Dishidros	$83,65 \text{ m}^3/\text{dt}$ (BWS III)	$H = 0,947 \text{ m}$ $T = 24 \text{ jam}$ (Pelindo IV, Pantoloan)	$T = 24 \text{ jam}$	$n_{-2} = 0,02$	$n_{-2} = 0,015$
					$n_{-1} = 0,025$	$n_{-1} = 0,02$
					$n_0 = 0,03$	$n_0 = 0,025$
					$n_{+1} = 0,035$	$n_{+1} = 0,03$
					$n_{+2} = 0,04$	$n_{+2} = 0,035$

## b. Kalibrasi Model

Hasil pengukuran pasang surut secara langsung diambil pada satu titik di lokasi pengamatan yaitu di bagian barat teluk sekitar Swis Bell Hotel yang digunakan sebagai data pembanding. Data pembanding kedua adalah pasang surut di pelabuhan Donggala. Pada model data pasang surut ditinjau pada satu titik pengamatan di sekitar daerah pengukuran. Perbandingan pasut hasil pengukuran, pelabuhan Donggala dan model disajikan pada **Gambar 4**.

Pada **Gambar 4** dapat dilihat bahwa perbandingan elevasi muka air pasang surut merupakan hasil yang bagus. Tampak bahwa muka air menunjukkan pola yang sama dengan selisih nilai yang wajar antara titik pengamatan P1, pelabuhan Donggala dan model tidak menunjukkan selisih yang besar yaitu antara  $0,5 \text{ m} - 0,1 \text{ m}$ . Titik pengamatan P1 adalah titik pengamatan yang

datanya diukur langsung di lapangan pada 12 – 13 April 2013. Pada titik pertama terdapat selisih yang jauh, namun pada titik berikutnya pola pasang pasang surut cenderung menyamai hasil pengukuran. Sehingga dinilai pengaturan model menyerupai atau mendekati kondisi nyata.



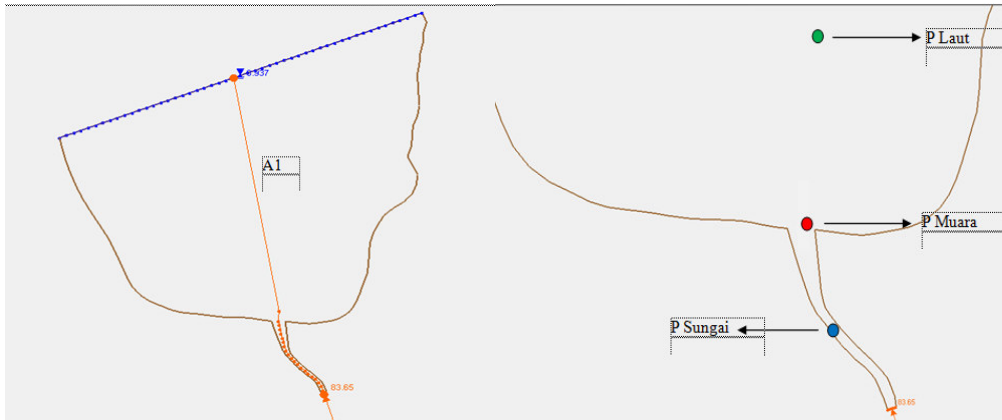
**Gambar 4.** Tinggi muka air model vs terukur  
Sumber : Hasil analisa data

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Pengaruh Koefisien Manning Terhadap Kenaikan Muka Air

Untuk mengamati dan menganalisa pengaruh 5 variasi koefisien kekasaran Manning  $n$  terhadap

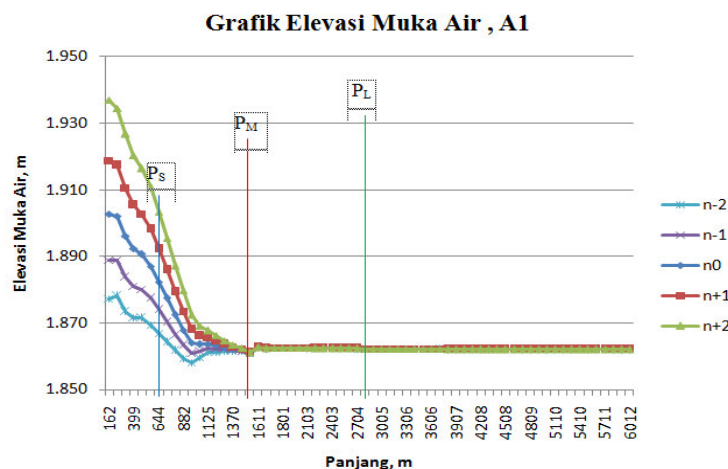
kondisi pengaliran disekitar teluk maka dibentuklah garis dan titik pengamatan, sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 5**.



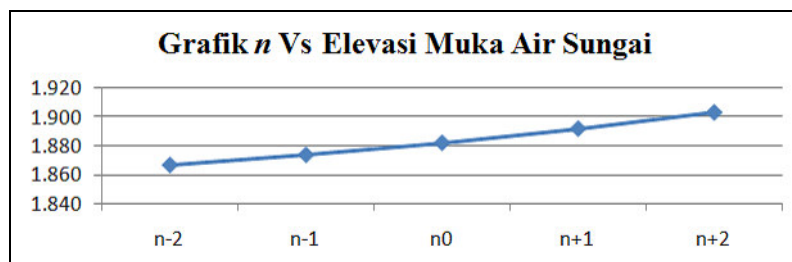
**Gambar 5.** Titik pengamatan di sekitar lokasi studi  
Sumber : Hasil analisa data

Pengaruh nilai  $n$  terhadap elevasi muka air yang diambil dari garis pengamatan A1 diperlihatkan pada **Gambar 6** dengan titik

pengamatan berada di sungai, muara dan laut, berturut-turut disebut sebagai  $P_S$ ,  $P_M$  dan  $P_L$ .

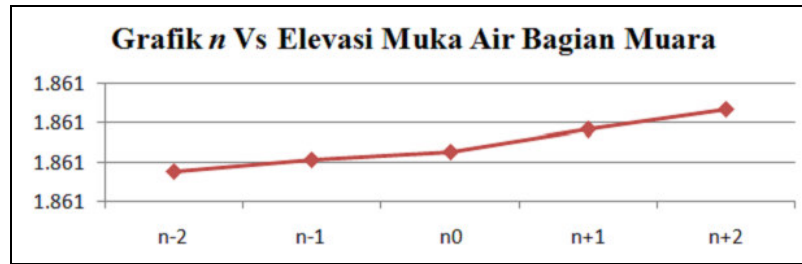


**Gambar 6.** Elevasi muka air saat puncak pasang  
Sumber : Hasil analisa data

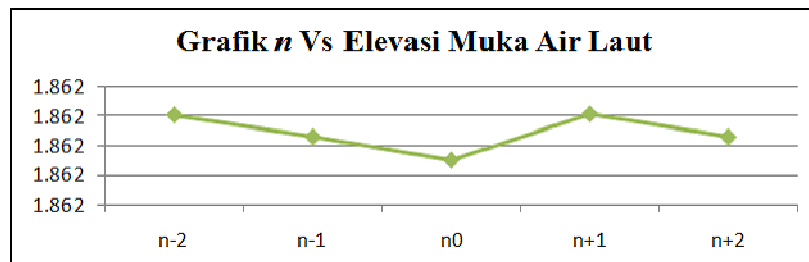


**Gambar 7.** Koefisien Manning Vs Elevasi muka air pada  $P_S$   
Sumber : Hasil analisa data





**Gambar 8.** Koefisien Manning Vs Elevasi muka air pada  $P_M$   
Sumber : Hasil analisa data



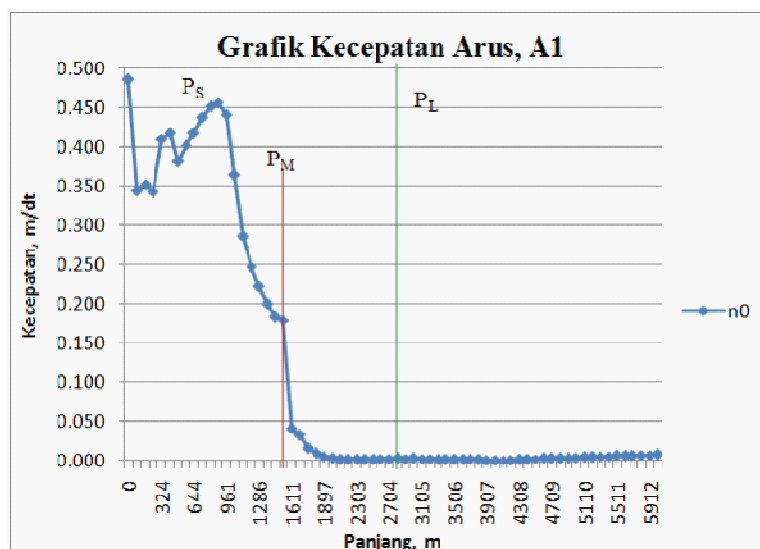
**Gambar 9.** Koefisien Manning Vs Elevasi muka air air pada  $P_L$   
Sumber : Hasil analisa data

Dari 3 titik pengamatan, perubahan elevasi muka air berangsur-angsur mengecil dari area sungai sampai ke muara dan laut. Variasi nilai  $n$  terhadap elevasi muka air cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan karena setiap kenaikan 0,005 nilai  $n$  elevasi muka air berubah 0,00699 m - 0,0111 m pada sungai, 0,00002 - 0,00006 m pada muara, dan 0,000016 - 0,000008 m pada laut. **Gambar 7** pada titik  $P_s$  memperlihatkan nilai elevasi muka air bertambah dari elevasi muka air  $n_{-2}$  ke elevasi muka air  $n_{+2}$  atau semakin besar nilai  $n$  maka semakin besar pula elevasi muka airnya. **Gambar 8** titik  $P_M$  nilai

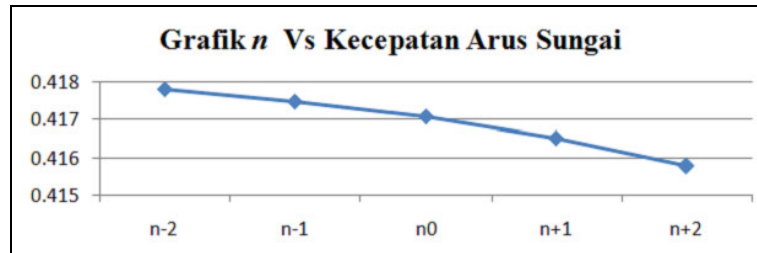
elevasi muka air bertambah dari elevasi muka air  $n_{-2}$  ke elevasi muka air  $n_{+2}$  atau semakin besar nilai  $n$  maka semakin besar pula elevasi muka airnya dan **Gambar 9** titik  $P_L$  nilai elevasi muka air ( $n_0$ ) lebih rendah dari elevasi muka air  $n_{-2}$ ,  $n_{-1}$ ,  $n_{+1}$ , dan  $n_{+2}$ .

#### b. Pengaruh Koefisien Manning Terhadap Kecepatan Arus

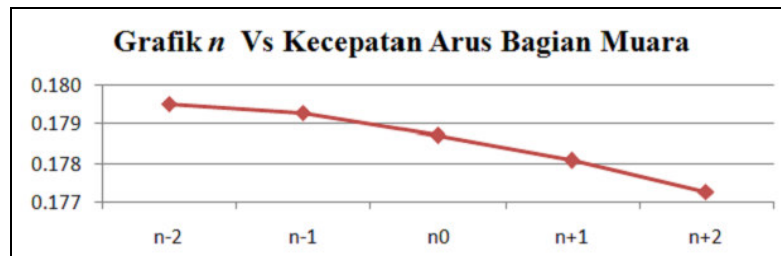
Pengaruh nilai  $n$  terhadap kecepatan arus yang diambil dari garis pengamatan A1 diperlihatkan pada **Gambar 10**, dengan titik pengamatan  $P_s$ ,  $P_M$  dan  $P_L$ .



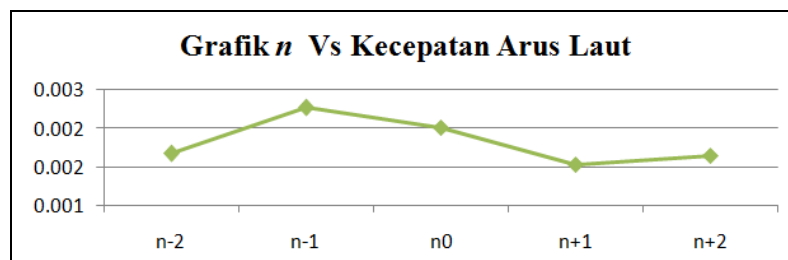
**Gambar 10.** Kecepatan air saat puncak pasang  
Sumber : Hasil analisa data



**Gambar 11.** Koefisien Manning Vs kecepatan arus pada  $P_s$   
Sumber : Hasil analisa data



**Gambar 12.** Koefisien Manning Vs kecepatan arus pada  $P_M$   
Sumber : Hasil analisa data



**Gambar 13.** Koefisien Manning Vs kecepatan arus pada  $P_L$   
Sumber : Hasil analisa data

Dari 3 titik pengamatan, kecepatan arus di sungai relatif besar dan berangsur-angsur mengecil ke wilayah muara dan laut. Variasi nilai  $n$  terhadap kecepatan arus cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan karena setiap kenaikan 0,005 nilai  $n$  kecepatan arus berubah 0,0003-0,0007 m/dt pada sungai, 0,0002-0,0008 m/dt pada muara, dan -0,0005 - 0,0004 m/dt pada laut, sebagaimana terlihat pada **Gambar 11**, **Gambar 12** dan **Gambar 13**. Pada **Gambar 11** pada titik  $P_s$  nilai kecepatan arus berkurang dari  $n_{-2}$  sampai  $n_{+2}$  atau semakin besar nilai  $n$  maka semakin kecil pula kecepatan arusnya. Pada titik  $P_M$  nilai kecepatan arus berkurang dari  $n_{-2}$  sampai  $n_{+2}$  semakin besar nilai  $n$  maka semakin kecil kecepatan arusnya dan pada titik  $P_L$  nilai kecepatan arus  $n_{+1}$  lebih rendah dari  $n_{+2}$ ,  $n_{-1}$ ,  $n_0$  dan  $n_{-2}$ .

## KESIMPULAN DAN SARAN

Sebuah model hidrodinamik dua dimensi menggunakan RMA-2 telah dikembangkan untuk mensimulasikan Teluk Palu. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa penggunaan nilai Manning dalam rentang 0,015 sampai 0,035 tidak memberikan pengaruh yang berarti di bagian teluk. Sedangkan pada bagian sungai, penggunaan nilai Manning dari 0,02 sampai 0,04 mengakibatkan kenaikan 1 sampai 2 cm saja. Fakta ini memberikan petunjuk bahwa pemilihan nilai koefisien Manning (dalam batas-batas rasional) menggunakan RMA-2 tidaklah terlalu sensitif.

Kalibrasi hidrodinamik menunjukkan bahwa model ini merupakan alat yang cukup baik untuk mengevaluasi pola umum sirkulasi dari sebuah sistem yang kompleks seperti Teluk Palu.

Input model berupa fluktuasi pasang surut pada batas laut dan debit sungai pada batas hulu telah dikalibrasi terhadap data yang dimiliki pada 12-13 April 2013. Tentu saja jika memiliki data terukur yang lebih panjang waktunya, akan menjadi bahan evaluasi yang lebih baik bagi pengembangan model ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arcement, G. J., dan Schneider, V. R., (1984), *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains, Water-supply Paper 2339, metric version, United State Geological Survey.*
- Donnell, B. P., Letter, J. V. McAnally, W. H., dkk, (2000), *User's Guide for RMA 2 Version 4.5*, US Army, Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Stations, Coastal and Hydraulics Laboratory.
- Ismael, P., Hugo, R., (2003), *Modelling the Rio de la Plata Circulation*, Proceedings of the Eight International Conference, Estuarine and Coastal Modelling, American Society of Civil Engineering, pp 358-371.
- King, I. P., (1998), *RMA2 –A two dimensional finite element model for flow in estuaries and streams*, Dept.of Civil Engineering University of California, Davis, California.
- Dirjen SDA Balai Wilayah Sungai Sulawesi, *Laporan Akhir Survey Investigasi dan Desain Penanganan Sungai Palu*, (2010), Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Balai Wilayah Sungai Sulawesi III, Palu.
- Munson, B.R., Young, D. F., dan Okiishi, T. H., (2003). *Mekanika Fluida (edisi keempat)*, Jilid 1 dan 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Valle-Levinson, A. (2010). *Contemporary Issues in Estuarine Physics*, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-89967-3.